

Primena PLC u elektroenergetici

■ Davači (Senzori)

3. Senzori ubrzanja

3.1. Diferenciranjem signala brzine se može odrediti ubrzanje.

Ovo se izbegava zbog pojačavanja šuma usled diferenciranja.

$$a = \frac{d\omega}{dt} \approx \frac{\Delta\omega}{T}$$

3.2. Merenjem sile koja deluje na telo mase m koje ubrzava..

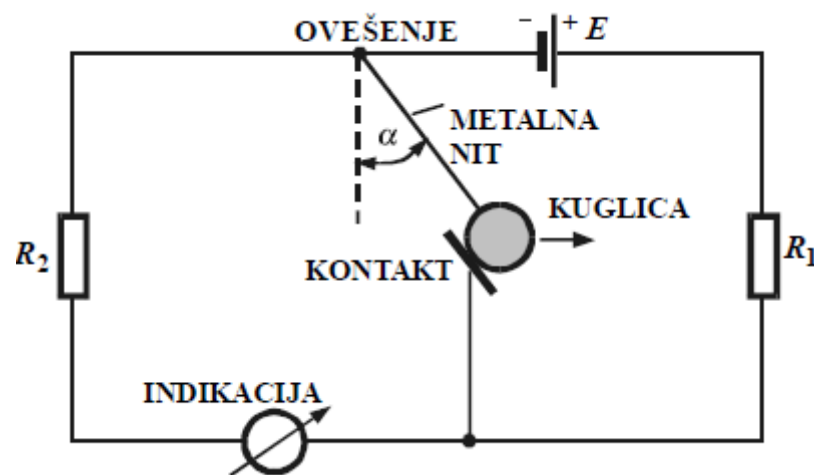
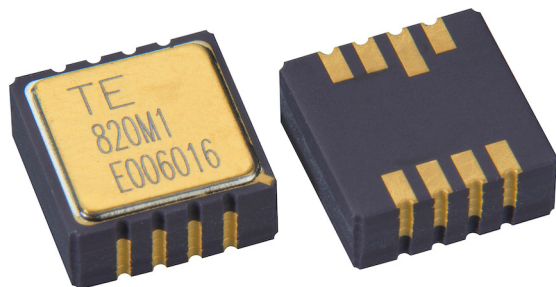
Ovo se izbegava zbog pojačavanja šuma usled diferenciranja.

$$a = \frac{F}{m}$$

3.2.1. Kontaktni akcelorometar

Kada ubrzanja predje neku vrednost kuglica se odvoji, promeni se električno kolo i indikacija proradi.

Koristi se za detektovanje granično ubrzanja, isključivo.



3. Senzori ubrzanja

3.2.2. Inercioni akcelerometar – za linearno ubrzanje (radi na principu merenja F)

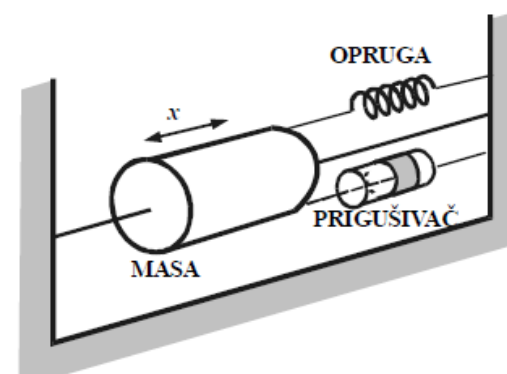
$$a = \frac{F}{m}$$

Kruto telo mase m , opruga krutosti c i prigušivač povezani na kućište. Telo m oseća silu usled ubrzanja. Ono je primarni osetilni element čiji je položaj proporcionalan ubrzanju.

Kada je senzor na objektu koji se kreće pravolinijski pod delovanjem sile ma , na primarni element m deluju sile suprotnog smera: $-md^2x/dt^2$ sila inercije, $-Bdx/dt$ sila otpora trenja i $-cx$ sila opruge.

$$m \frac{d^2x}{dt^2} + B \frac{dx}{dt} + cx = -ma$$

U stacionarnom stanju prve dve komponente su nula i pomeraj tela je proporcionalan sili. Pomeranje mase može se direktno prenositi na pokazni instrument, ili se može dobiti električni izlazni signal preko otporničkog, induktivnog, kapacitivnog ili pizeoelektričnog senzora pomeraja.



3. Senzori ubrzanja

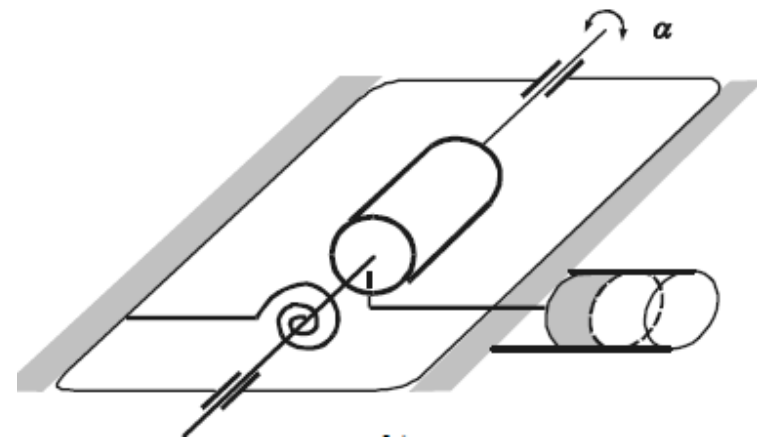
3.2.2. Inercioni akcelerometar – za ugaono ubrzanje (radi na principu merenja M)

$$a = \frac{M}{I}$$

Inercijalni senzor ugaonog ubrzanja ima primarni element u obliku krutog tela momenta inercije I . Kada objekat rotira ugaonim ubrzanjem $\ddot{\phi}$, na primarnom elementu se stvara moment $M_{in} = I\ddot{\phi}$. Ovom momentu suprotstavlja se moment sile inercije $I\ddot{\alpha}$, moment sile prigušenja $B'\dot{\phi}$ i moment sile opruge $c\alpha$. Balans navedenih momenata daje jednačin rotacionog kretanja senzora:

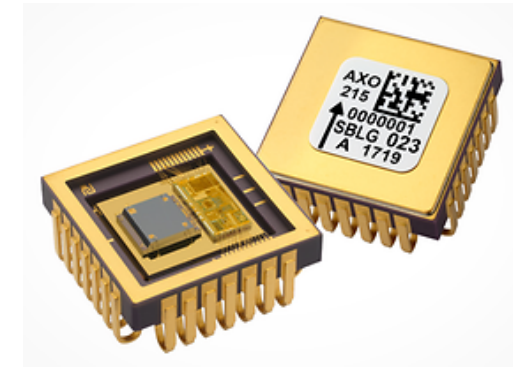
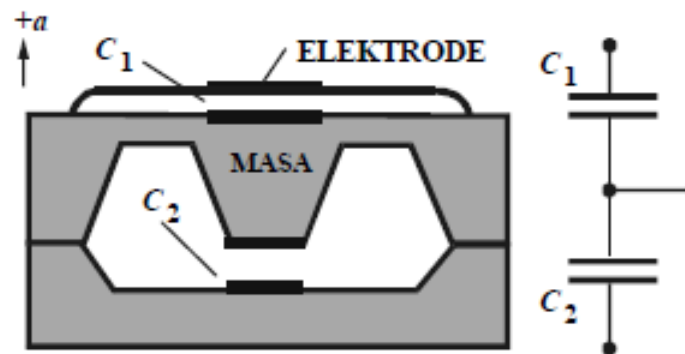
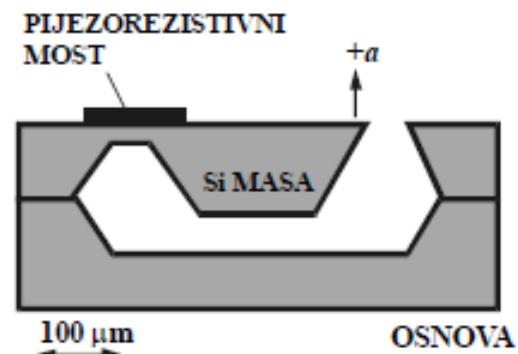
$$I\ddot{\alpha} + B'\dot{\phi} + c\alpha = -I\ddot{\phi}$$

U stacionarnom stanju prve dve komponente na levoj strani jednake su nuli, tako da je ugao zakretanja osetljivog elementa proporcionalan ugaonom ubrzanju oko ose x.



3.2.3. Poluprovodnički akcelorometar

Osetilna masa je ovešena na posebno profilisanu silicijumsku konzolu koja trpi deformaciju pod delovanjem ubrzanja. Deformacija se detektuje pjezorezistorskim mostom. Veća osetljivost dobijena je pomoću diferencijalnog kapacitivnog senzora kod kojeg srednji sloj ima ulogu osetilne (seizmičke) mase (slika desno). Poluprovodnički akcelorometri odlikuju se malim dimenzijama i širokom primenom u komercijalne svrhe, u automobilima, u mašinama, u robotici, za merenje vibracija, itd.



4.1. Senzori sile

Sila je jedna od osnovnih veličina u mehanici. U skladu sa drugim Njutonovim zakonom, sila F se definiše kao proizvod mase m i ubrzanja a :

$$F = m \cdot a$$

Jedinica za silu je $N = \text{kgm/s}^2$.

Merenje intenziteta i pravca.

U pogonima i robotici se često pored intenziteta sile F i momenta M , traži i informacija o pravcu njihovog delovanja. To se ostvaruje merenjem komponentata vektora F duž koordinatnih osa x , y i z . Intenzitet sile u tom slučaju određuje se pomoću jednačine

Između pojedinih komponentata i intenziteta postoje relacije:

$$F_x = F \cos \alpha, \quad F_y = F \cos \beta \quad \text{i} \quad F_z = F \cos \gamma$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

na osnovu kojih se mogu izračunati i uglovi α , β i γ , koji definišu pravac delovanja sile F .

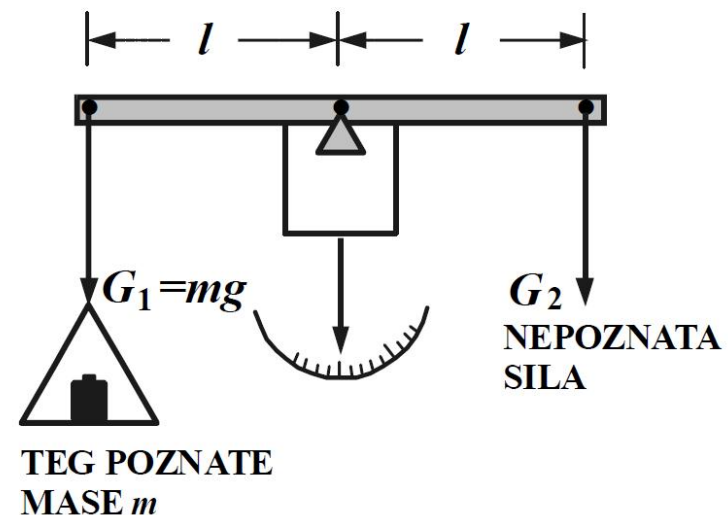
4.1.1. Akcelerometri za merenje sile

Merenje sile pomoću akceleracije a poznate mase m retko se primenjuje. Razlog je što sila obično deluje na neko telo koje nije slobodno i ne može da se kreće, pa nema ni ubrzanja.

4.1.2. Senzori težine za merenje sile

Sila zemljine teže (težina) je sila koja nastaje delovanjem ubrzanja Zemljine teže g : $G = mg$ i uvek je usmerena prema centru mase Zemlje.

Senzori težine (vage) zasnivaju se na primeni jednačine gravitacije, odnosno metode balansa. Fundamentalni instrumenti ovoga tipa su mehaničke vage. Nepoznata sila upoređuje se sa gravitacionom silom koju ima poznata masa m .



4.1.3. Elastični senzori sile (merenje deformacija)

Elastični senzori imaju mehanički elastični element čija deformacija, tj. promena dužine, proporcionalna sili koja na njega deluje.

Slično sa merenjem ubrzanja !

Deformacija tela delovanjem sile definiše se na osnovu Hukovog zakona $F=cx$, gde je c krutost tela, a x vektor deformacije tela. Ako je poznat koeficijent krutosti, silu je moguće odrediti merenjem deformacije. Merenje se realizuje merenjem deformacije elastičnog elementa u senzoru. Elastični elementi mogu biti opruge, prstenovi, cilindri itd. Elastični senzori sile su zapravo senzori pomeraja.



$$F = m \ddot{x} + B \dot{x} + Cx$$

Stacionarno stanje:

$$F = Cx$$

Pomeranje mase može da se direktno prenosi na pokazni instrument, ili se može dobiti električni izlazni signal preko R, C, L elementa.



4.2. Senzori momenta

Moment je izvedena mehanička veličina koja predstavlja proizvod sile i njenog rastojanja do referentne ose.

$$M = r \times F$$

Jedinica je Nm. Merenje momenat je od posebnog značaja za obrtne električne mašine.

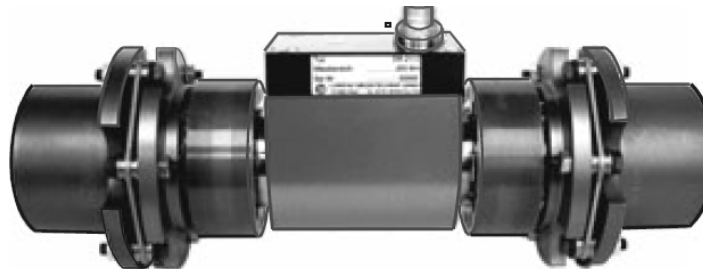
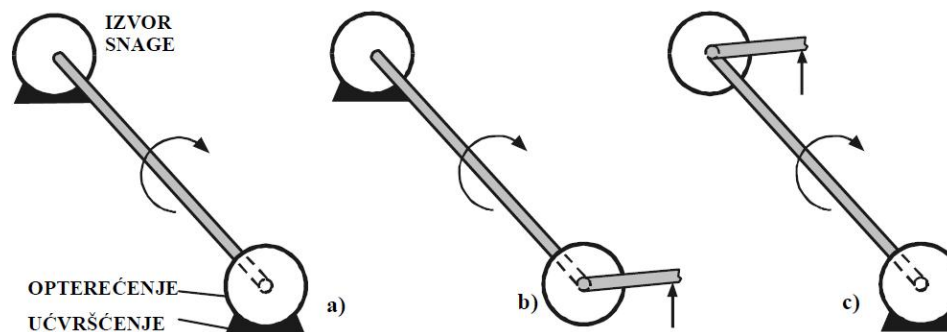
Snaga P [W] koju motor sa ugaonom brzinom ω [rad/s] pomoću osovine prenosi na opterećenje je:

$$P = M\omega$$

4.2.1. Dinamometri - senzori momenta

Dinamometrijski metod merenje momenta se zasniva na sili reakcije u ležajevima. Snaga se prenosi od izvora do opterećenja pomoću osovine, zbog čega osovina trpi torziju.

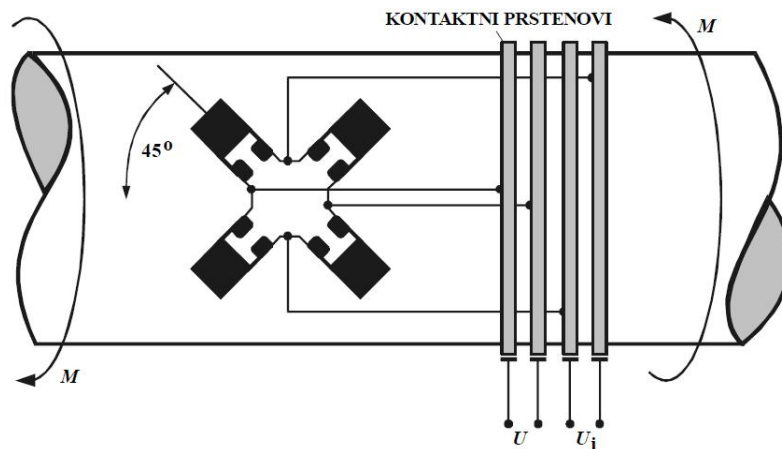
Snaga (moment) koja se prenosi od izvora do opterećenja može se meriti na strani izvora ili na strani opterećenja, a moment se računa kao proizvod sile F i rastojanja L .



4.2.2. Merenje momenta torzionim naprezanjem

Tenzoelement (tenzometar, tenzootpornik, rastezna traka, merna traka, strain gauge) je pasivni otpornički senzor mehaničke deformacije. Njegov rad se zasniva na činjenici da se otpor električnog provodnika menja kada je taj provodnik izložen elastičnoj deformaciji.

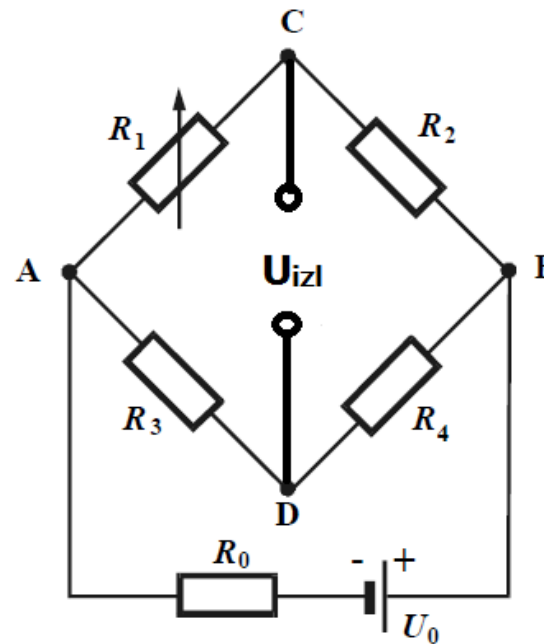
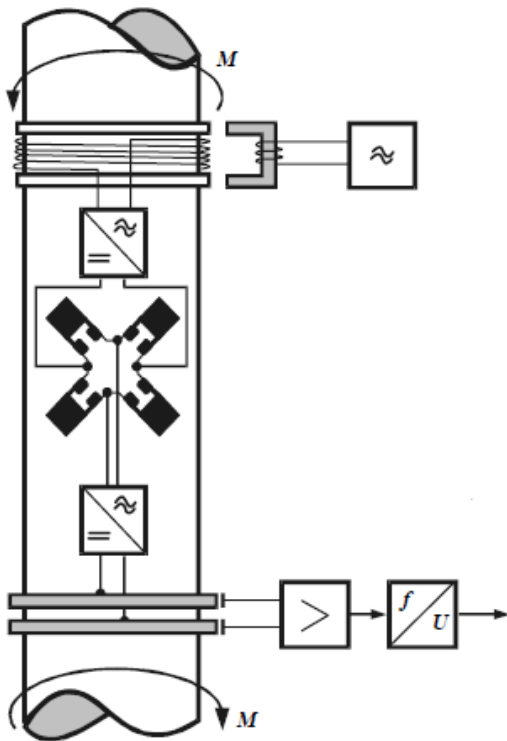
Elementi se postavljaju u pravcu najvećeg naprezanja, tj. pod uglom od 45° u odnosu na osu osovine.



Potrebna su 4 tenzoelementa, koji formiraju puni most. Na taj način postiže se najveća osetljivost, te najbolja temperaturna kompenzacija i eliminacija uticaja progiba na tačnost merenja.

4.2.2. Merenje momenta torzionim naprezanjem

Obrtni transformator služi za bezkontaktno napajanje mosta. Na osovini se prenosi AC napon koji se ispravlja ispravljačem i napaja most. Pošto se otpori menjaju sa momentom, proporcionalno merenom momentu na mernoj dijagonali mosta dobija se jednosmerni napon ΔU_m . Da bi se ponovo lakše prebacio sa osovine na stator ovaj napon se pretvara u frekvenciju preko U/f pretvarača

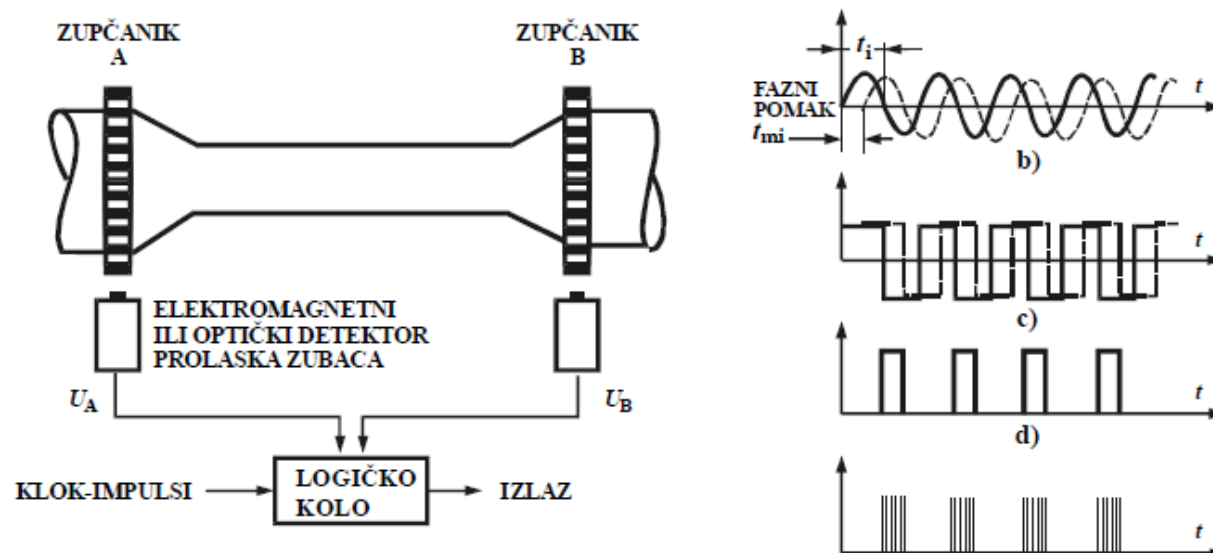


$$U_{izl} = U_0 \left[\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right]$$

4.2.2. Merenje momenta torzionim naprezanjem

Digitalni senzori momenta su beskontaktnog tipa i mere moment na osnovu proporcionalnost ugaonog uvrtnja osovine (torzionog ugla) sa momentom koji se prenosi. Osetilni element je kalibrisana torziona osovina. Ona je jednim krajem priključena na stranu motora, a drugim na potrošač. Na mestima priključenja postavljeni su zupčanici A i B. Delovanjem momenta dolazi do uvrtnja osovine i razlike u položaju zupčanika za iznos torzionog ugla.

Pomeranje zubaca detektuje se elektromagnetnim ili optičkim senzorima ugaone brzine. Izlazni signali U_A i U_B imaju isti oblik, ali zbog relativne pomerenosti zupčanika, između njih postoji fazni pomeraj proporcionalan momentu. Veličina faznog pomeraja se detektuje na razne načine.



5. Senzori pritiska

Pritisak [$\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$] se dobija kao odnos sile F [N] i površine na koju ta sila deluje S [m^2]

$$P = F / S$$

Prema teoriji fluida, pritisak je lokalno svojstvo fluida i zavisi od visine stuba h [m] fluida iznad date lokacije i gustine fluida ρ [kg/m^3], odnosno

$$P = \rho gh$$

Pritisak se može definisati i pomoću kinetičke teorije gasova kao mera totalne prosečne kinetičke energije E [$\text{J} = \text{Nm}$] translatornog kretanja N molekula gasa u volumenu V [m^3] na temperaturi T [K]:

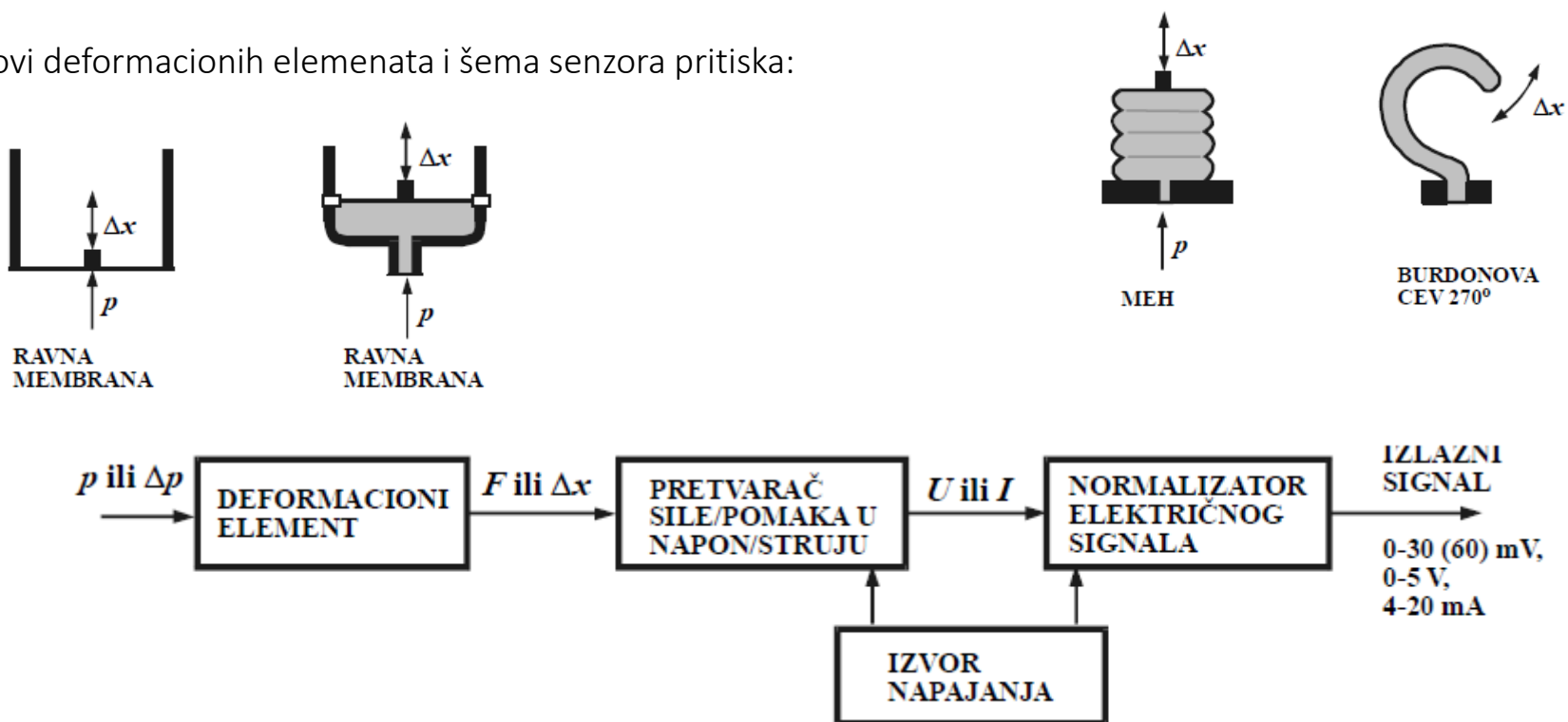
$$P = \frac{2}{3} NkT / V$$

gde je $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ Bolcmanova konstanta.

5. Senzori pritiska

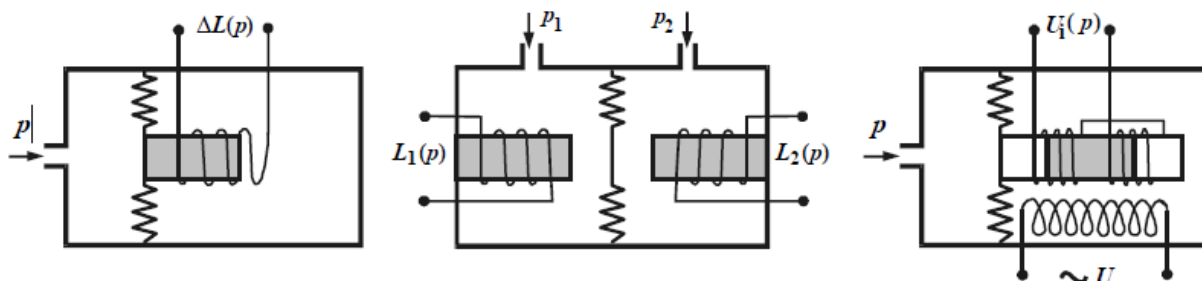
Većina električnih senzora pritiska ima primarni element u obliku membrane, meha ili Burdonove cevi. Od karakteristika primarnog elementa zavise osetljivost senzora. Deformacija elemenata, koja nastaje usled delovanja pritiska pretvara se dalje u električni izlazni signal. Na osnovu toga razlikuju se elektromagnetni, kapacitivni, otpornički, pijezelektrični i optoelektronski senzori.

Tipovi deformacionih elemenata i šema senzora pritiska:



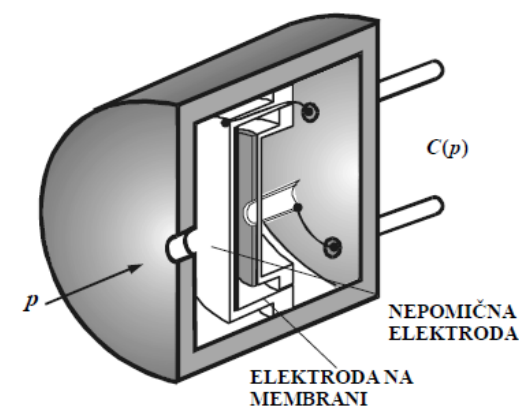
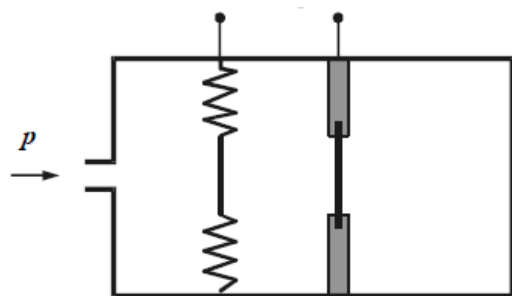
5.1. Elektromagnetni senzori pritiska

Detekcija deformacije primarnog elementa ostvaruje se pomoću elektromagnetnih senzora pomeraja. Najviše se primenjuje induktivni detektor sa relativnim pomerajem jezgra i jednim navojem (slika levo).

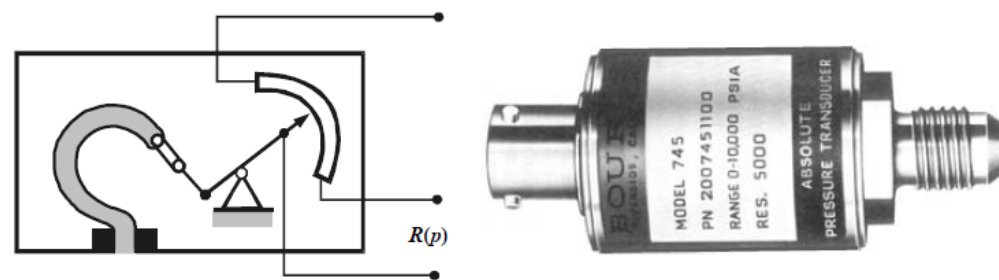


5.2. Kapacitivni senzori pritiska

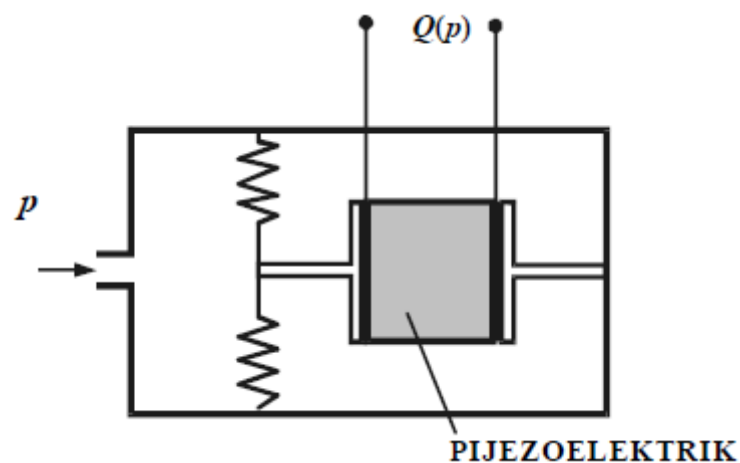
Metalna membrana upotrebljava kao pokretna elektroda kondenzatora



5.3. Potenciometarski senzori pritiska



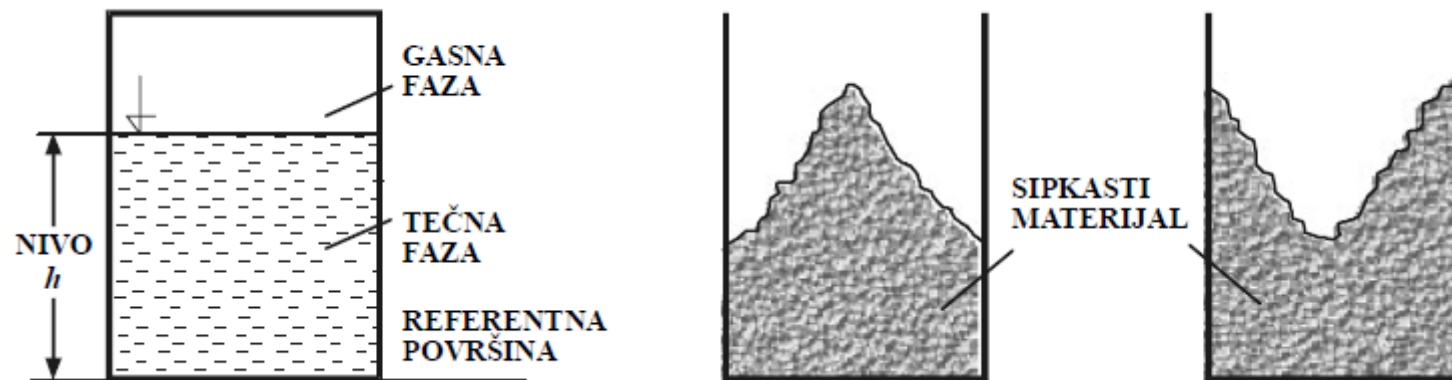
5.4. Pijezoelektrični senzori pritiska



6. Senzori nivoa

Nivo je visina tečnog ili usitnjenog (sipkastog, praškastog) materijala u posudi. Nivo predstavlja graničnu površinu između dve sredine različite gustine u odnosu na neku horizontalnu površinu uzetu kao referentnu. Granična površina je obično između tečne i gasne faze, a ređe između dve tečne faze.

Senzori nivoa se zovu nivometri.



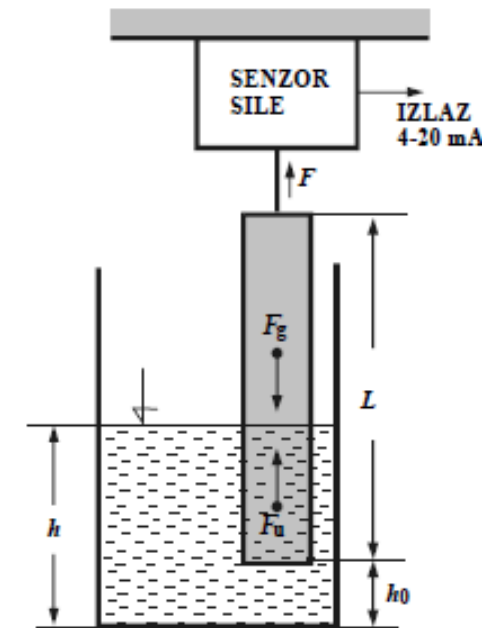
6.2. Ronilo kao senzor nivoa

Senzori sa ronilom rade na principu sile uzgona, tj. Arhimedovog zakona. Ronilo je obično štap cilindričnog oblika i na gornjem kraju povezan za senzor sile. Napravljeno je od materijala gustine ρ , koja je veća nego što je gustina tečnosti ρ_t , ima dužinu L približno jednaku mernom opsegu. Zbog sile uzgona F_u težina ronila F_g se smanjuje, pa senzor sile detektuje:

$$F = F_g - F_u = \rho g S L - \rho_t g S (h - h_0)$$

Tako da je nivo proporcionalan sili:

$$h = \rho L / \rho_t + h_0 - F / \rho_t g S = k_1 - k_2 F$$

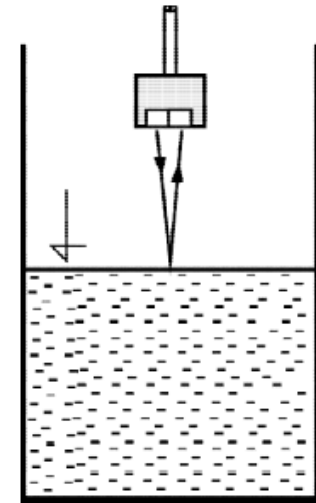


6.4. Ultrazvučni senzori nivoa

Odbijanje zvučnih, ultrazvučnih i mikrotalasnih zračenja od razdelne površine između dva fluida efikasno se primenjuje u tehnici merenja nivoa. Ovaj način poznat je kao princip sonara: emitovani talas putuje do površine od koje se odbija kao eho signal, a nivo je proporcionalan ukupnom vremenu T za koje talas pređe od izvora do prijemnika zračenja:

$$h = \frac{v}{2} T$$

v - brzina prostiranja zvuka

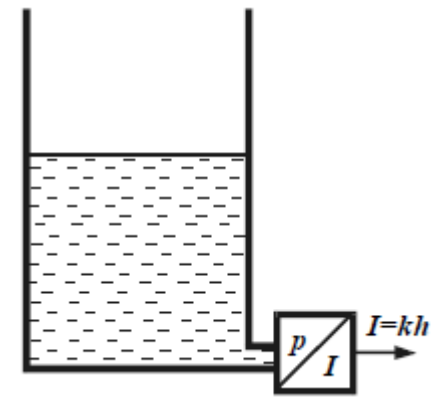


6.5. Hidrostatički senzori nivoa

Princip rada ovih senzora zasniva se na primeni Paskalovog zakona. Pritisak na dubini h , u fluidu gustine ρ iznosi:

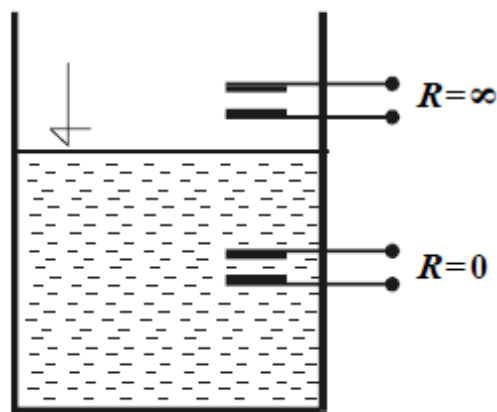
$$p = \rho gh$$

Što veći nivo, veći pritisak. Pritisak se dalje pretvori u električnu veličinu koja je ujedno proporcionalna i trenutnom nivou tečnosti.

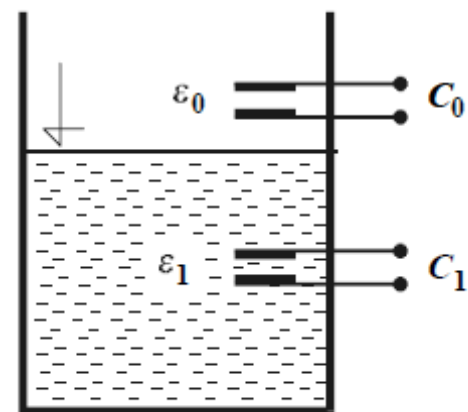


6.6. Diskretni-granični senzori nivoa

Detektuju kada tečnost distigne minimalni ili maksimalni nivo u rezervoaru.



Otpornost je beskonačna dok tečnost ne dostigne taj nivo. Kada dosegne, otpornost postaje ≈ 0 .



Slično - dok tečnost ne dosegne nivo kondenzatora C_0 , on ima jednu kapacitivnost, a kada tečnost dosegne C_0 , ovaj kondenzator ima drugu kapacitivnost.

7. Senzori protoka

Protok je količina sipkastog materijala, tečnosti ili gasa koja protekne kroz posmatrani poprečni presek za jedinicu vremena.

Količina se izražava u jedinicama mase ili zapremine, pa se razlikuju

a) maseni protok: $Q_m = \frac{dm}{dt} [\text{kg/s}];$

b) volumenski protok: $Q_v = \frac{dV}{dt} [\text{m}^3/\text{s}].$

Količina (masa ili volumen) fluida koja je protekla kroz protokometar u vremenskom intervalu

$$m = \int_{t_1}^{t_2} Q_m dt \quad \text{i} \quad V = \int_{t_1}^{t_2} Q_v dt.$$

Odnos brzine i protoka proizilazi iz principa konzervacije mase, izražene jednačinom kontinuiteta

$$Q_m = \rho \int_S v dS.$$

7. Senzori protoka

Protok gasova. Merenje protoka gasova zavisi od njihove temperature i pritiska. Zato se protok gasova izražava u odnosu na normalno stanje gasa, koje je definisano pritiskom $p_n = 101\,325\text{ Pa}$ i temperaturom $T_n = 293,15\text{ K}$, pri relativnoj vlažnosti $\phi = 0\%$, tako da je:

$$Q_m = \rho Q_v = \rho_n \frac{p T_n}{p_n T_k} Q_v$$

Protok sipkastog materijala svodi se na merenje težine. U industrijskim procesima sipkasti materijali obično se prenose transportnim trakama, koje se kreću brzinom v . Deo trake (dužine l) služi kao tas ispod kojeg je smešten senzor sile (težine), koji na svom izlazu daje maseni protok:

$$Q_m = mv/l [\text{kg/s}]$$

7. Senzori (volumenskog) protoka

Volumetrijsko merenje protoka zasniva se na merenju volumena supstance koja protiče kroz posmatrani poprečni presek.

Merni parametar rezultat je međusobnog delovanja toka fluida i tela postavljenog u tok. Telo može biti fiksirano ili pokretno. Nepokretno telo je tzv. prigušnica, a merni parametar tada je diferencijalni pritisak.

7.1. Senzori protoka sa prigušnicom

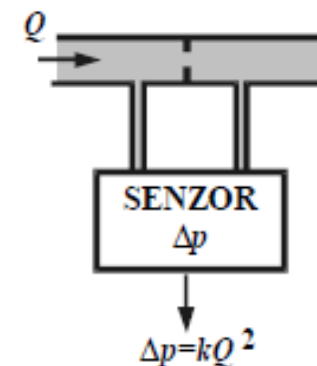
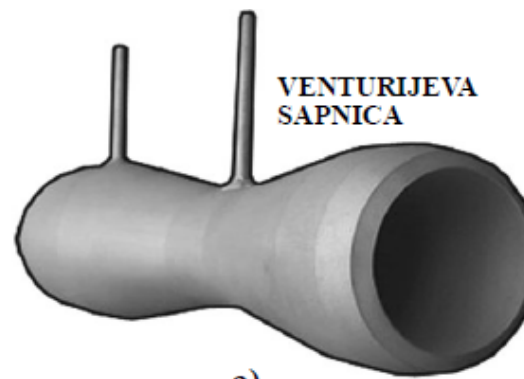
Prigušnica menja odnos potencijalne i kinetičke energije, što omogućava da se merenjem diferencijalnog pritiska na prigušnici jednoznačno odredi protok. Najviše se upotrebljava prigušnica u obliku prstena, koji se naziva dijafragma, zaslon ili merna blenda. Drugi oblici prigušnice su sapnica, Venturijeva sapnica i Venturijeva cev.

Bernulijeva jednačina:

$$p + \rho v^2 / 2 + \rho gh = const$$

u dve tačke , i dobija se

$$Q_V = C \alpha \varepsilon d^2 \sqrt{\Delta p / \rho}$$

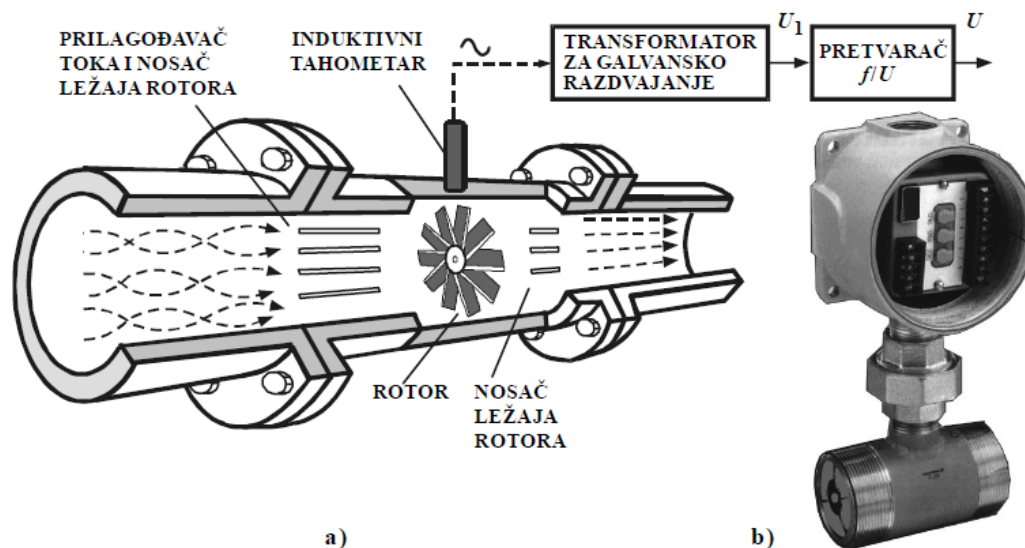


7.2. Senzori protoka merenjem brzine

Kod volumetrijskih senzora brzinskog tipa meri se srednja brzina fluida u poprečnom preseku S , a protok Q_v se dobija kao: $Q_v = v S$.

7.2.1. Turbinski senzor protoka

Volumetrijski senzori protoka sa merenjem brzine imaju aksijalnu ili poprečno postavljenu turbinu kao osetilni element. Zbog toga su i dobili naziv turbinski protokometri. Broj obrtaja turbine u vremenu n proporcionalan je brzini fluida v u posmatranom poprečnom preseku S .



7.2.2. Pitova cev kao senzor protoka

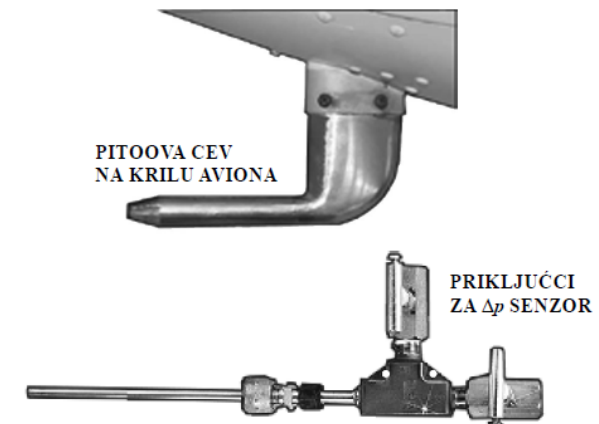
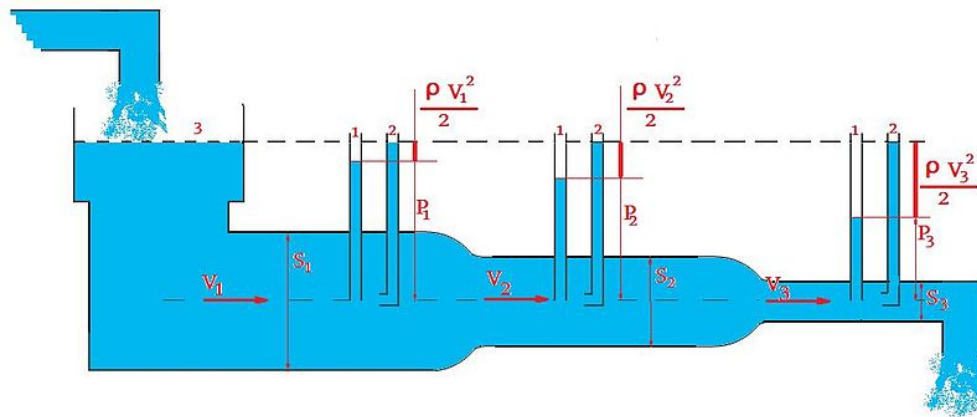
Merenje dinamičkog pritiska: $p_{\text{din}} = p_{\text{tot}} - p_{\text{st}} = \rho v^2 / 2$

Neposredno uz zid cevovoda fluid miruje i tu deluje samo statički pritisak p_{st} . Na osi cevi deluje totalni pritisak p_{tot} koji je u odnosu na statički uvećan za dinamičku komponentu $\rho v^2 / 2$.

Za merenje dinamičkog pritiska upotrebljava se Pitoova ili Prantlova cev.

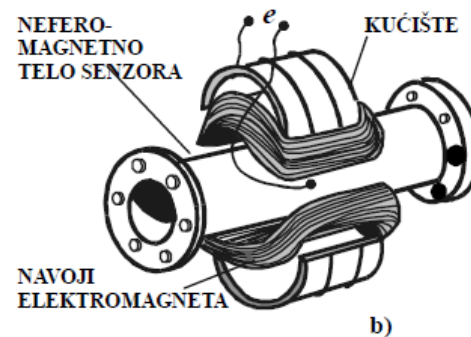
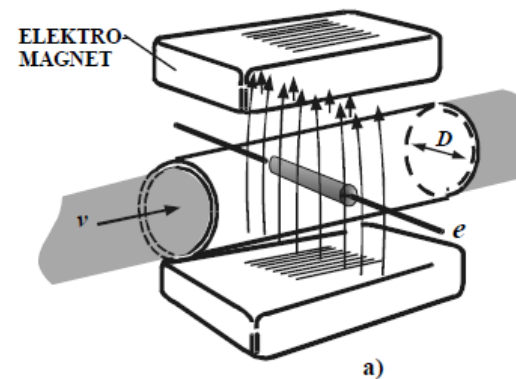
Cevi normalno na tok mere statički pritisak. Cevi postavljene u tok mere i statički i dinamički pritisak koji je veći za $\rho v^2 / 2$. Razlika ova dva je proporcionalna brzini.

Na slici su dinamički veći na užim delovima (veća brzina fluida).



7.2.3. Indukcioni senzori protoka

Samo za provodne tečnosti. Prolaskom provodne tečnosti kroz magnetno polje indukuje se napon. Napon je proporcionalan brzini.



8. Senzori temperature

Temperatura predstavlja stepen zagrejanosti tela. Takođe, ona je povezana sa termičkim kretanjem molekula ili atoma, tj. sa termodinamičkim stanjem tela i njegovom unutrašnjom energijom.

Prema kinetičkoj teoriji gasova, apsolutna temperatura T tela definiše se kao mera srednje energije translatornog kretanja molekula gasa:

$$\overline{E_k} = \frac{m\overline{v}^2}{2} = \frac{3}{2}kT$$

gde su:

m - masa molekula gasa,

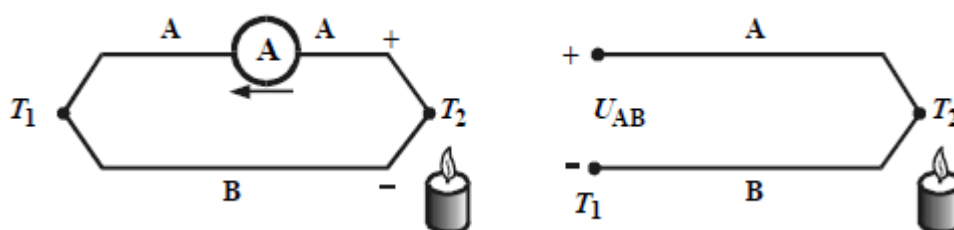
v - srednja brzina molekula,

k - Bolcmanova konstanta

8. Senzori temperature

8.1. Termoelementi

Termoelektrični potencijal. Kada su krajevi provodnika na različitim temperaturama $T_2 > T_1$ između njih nastaje toplotni tok od toplijeg prema hladnijem kraju. Prenos toplote je, prema tumačenju kvantne teorije, usko povezan sa kretanjem slobodnih elektrona. Njihova koncentracija i pripadni potencijal neravnomerno su raspoređeni duž provodnika, pa se javlja struja:



$$U_{T_2} - U_{T_1} = \int_{T_1}^{T_2} K dT.$$

$$U_{T_2} - U_{T_1} = K(T_2 - T_1)$$

Zebekov termoelektrični efekt – termoelement.
Struja ne može da se zatvori kroz jedan provodnik duž kojeg se dovodi toplota. Neophodno je zatvoreno termoelektrično kolo od dva različita provodnika A i B sa termoelektričnim konstantama K_A i K_B

$$U_{AB} = (U_{T_2} - U_{T_1}) - (U_{T_1} - U_{T_2}) =$$

$$= K_A(T_2 - T_1) - K_B(T_1 - T_2) = \alpha(T_2 - T_1)$$

T_2 – topli kraj

T_1 – hladni kraj (treba poznavati T_1)

8. Senzori temperature

8.2. Otpornički senzori temperature

Zavisnost otpora od temperature

$$R_T(T) = R_0 + R_0 \alpha \left[T - \delta \left(\frac{T}{100} - 1 \right) \frac{T}{100} - \beta \left(\frac{T}{100} - 1 \right) \left(\frac{T}{100} \right)^3 \right]$$

gde su:

R_T otpor na temperaturi T ,

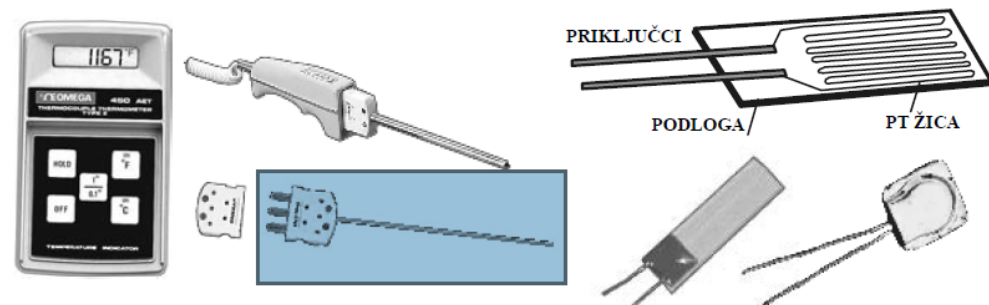
R_0 otpor na temperaturi $T = 0^\circ\text{C}$,

a ostali su temperaturni koeficijenti otpora.

Termootpornički senzor od Pt-žice.

Platina je najbolji materijal za izradu metalnih termootpornika, moguća je 99.99% čistoća, hemijski neutralna...

Termootpornički senzor je pasivan i kroz njega mora prolaziti neka struja da bi se dobio napon koji se može meriti.



8. Senzori temperature

8.3. EM 231 Thermocouple and RTD module

The EM 231 thermocouple module

Thermocouple is a junction between two different metals that produces a voltage related to a temperature difference

- EM 231 is for temperature acquisition using standard thermocouples with a high precision.
- 4 inputs +/- 80 mV, 15-bit resolution+ sign,
- thermocouples type J,K, S, T, R, E, N

Type K (chromel -alumel)

alumel(95% [nickel](#), 2% [manganese](#), 2% [aluminium](#) 1% [silicon](#))

chromel (90 percent [nickel](#) and 10 percent [chromium](#))



EM 231 RTD module

-2 inputs for thermistors

-Više tipova RTD senzora

Platinum resistance thermometers

-Pt100/200/500/1000/10000

(Pt100 = 100 ohm na 0C)

Nickel resistance thermometers

- Ni100/120/1000, Cu10;

resistance 150/300/600 Ohms,

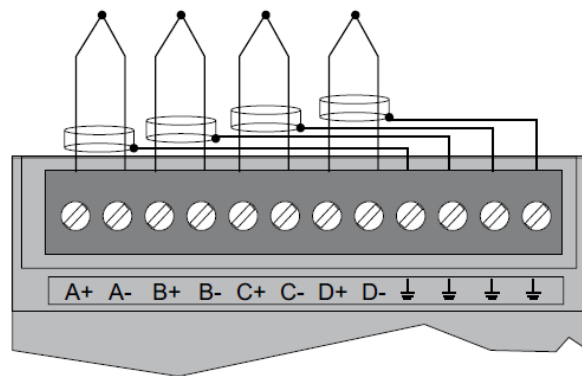
15-bit resolution + sign

Supports 31 standard rs. temp. sensors



8. Senzori temperature

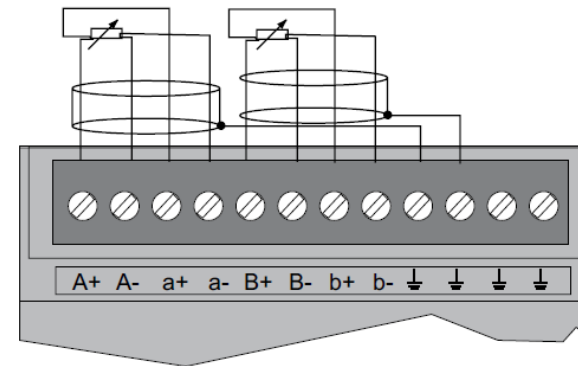
8.3. EM 231 Thermocouple and RTD module



24 VDC

EM 231 Thermocouple module, 4 Input Version

Refer to the S7-200 Programmable
Controller System Manual for
Configuration DIP Switch Positions



24 VDC

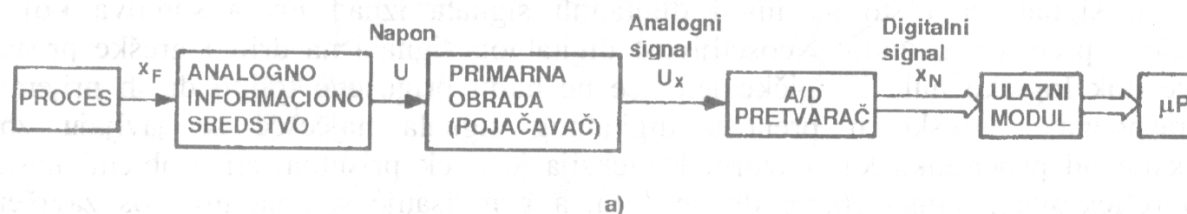
EM 231 RTD module, 2 Input Version

Refer to the S7-200 Programmable
Controller System Manual for
Configuration DIP Switch Positions

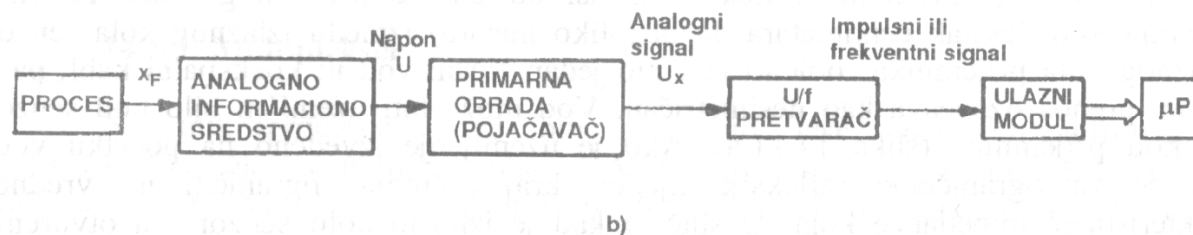
Dodatni komentari:

Klasična veza senzora sa PLC ili mikroprocesorom:

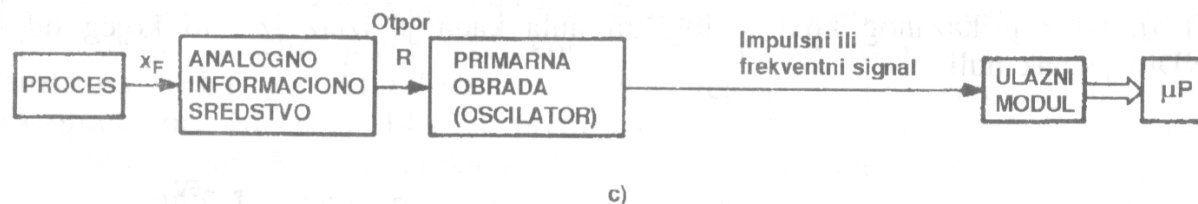
Analogni signal + AD konvertor (analogni PLC ulaz)



Analogni pretvoren u impulsni signal + brojački PLC ulaz



Izvorno impulsni signal + brojački PLC ulaz



Dodatni komentari:

Podela senzora po tipu izlaza

Jednostavni (tradicionalni) senzori:

- Izlaz industrijski standard: napon 0 -24V ili struja 4 mA- 20 mA.
- Problemi sa šumom, prenosom na daljinu.
- Nemoguća kalibracija van sistema u kome senzor radi.

Napredni (moderni) senzori:

- Izlaz serijska veza, PROFIBUS, Ethernet ...
- Nema problema sa šumom, ni sa prenosom na daljinu.
- Moguća kalibracija u toku rada.
- Moguća kalibracija OFF-LINE, samostalno bez potrebe da je senzor povezan u sistem u kome treba da radi.